

УДК 66.048+546.226-325

**А.Б. Гелеш канд. техн. наук, доц., О.Є. Яворський**  
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УПАРЕННЯ РОЗЧИНІВ СУЛЬФАТНОЇ КИСЛОТИ У ВЕРТИКАЛЬНІЙ ПОРОЖНИСТІЙ РОЗПИЛЮЮЧІЙ КОЛОНІ**

**A.B. Helesh Ph.D., Assoc. Prof, O.Y. Yavorskyi**  
**INVESTIGATION OF THE EVAPORATION PROCESS OF SULFURIC ACID  
SOLUTIONS IN THE VERTICAL HOLLOW SPRAY COLUMN**

Сульфатну кислоту у великій кількості використовують як сушильний агент, у процесах органічного синтезу, для виробництва пігментного титану(IV) оксиду тощо. У результаті одержують значні об'єми розведеної сульфатної кислотим, яку, як правило, не використовують, а скидають у хвостосховище, що негативно впливає на екологічну ситуацію та економічні показники виробництва. Концентрування розчинів сульфатної кислоти до стандарту (94...96%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) є дуже енергозатратним процесом. Це пов'язане з тим, що теплоту необхідно витратити не тільки на випаровування води з розчину, але і на дегідратацію сульфатної кислоти. Крім того, процес концентрування ускладнюється тим, що із збільшенням концентрації кислоти різко зменшується парціальний тиск водяної пари над нею. Тому розведену кислоту доцільно упарювати до невисоких концентрацій (52...75%) і направляти на ті виробництва, які можуть її використовувати, зокрема, виробництво амофосу, суперфосфату.

Кафедрою ХТНР НУ «Львівська політехніка» розроблено наукові засади утилізації розведеної сульфатної кислоти шляхом її упарювання гарячими викидними газами. Ці гази утворюються у багатьох процесах, є ненасиченими за водяною парою, тому їх доцільно використовувати як теплоносії для упарення сульфатної кислоти. Головною перевагою запропонованої технології є те, що для утилізації кислоти запропоновано використовувати теплоту викидних газів.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, дійшли до висновку, що для упарення розчинів сульфатної кислоти доцільно використовувати порожнисту вертикальну розпилюючу колону [1]. Експериментальні дослідження проводили на укрупненій лабораторній установці, головним апаратом якої була порожниста вертикальна колона висотою 2 м і внутрішнім діаметром 0,1 м. Теплообмін між краплями кислоти та гарячим повітрям здійснювали в умовах вільного падіння краплі в об'ємі апарату. Розчин сульфатної кислоти подавали в колону через капіляр, який встановлювали строго вертикально вздовж осі апарату. Розмір крапель задавали діаметром капіляру. Система підігріву повітря, теплоізоляція колони та підігрів окремих її вузлів давав змогу проводити дослідження за температур газовой фази від 303 до 673 К.

Головною кінетичною константою процесу упарення сульфатної кислоти є коефіцієнт теплопередачі від газового середовища до краплі ( $\alpha$ , Дж/(с·м<sup>2</sup>·К)). Значення цього коефіцієнта дає змогу: визначити час прогріву краплі від початкової температури до температури упарення кислоти; розрахувати необхідний час упарення розчину від початкової концентрації до кінцевої; визначити необхідне диспергування розчину; висоту колони тощо. Швидкість випаровування крапель води та інших речовин вивчалась багатьма авторами, запропоновано різні математичні моделі, за якими можна розрахувати коефіцієнт тепловіддачі. Однак, кінетичні константи, розраховані за цими моделями, дуже різняться між собою. Тому виникла необхідність вивчення процесу упарення крапель розчинів сульфатної кислоти у порожнистій колоні гарячими газами.

Досліджено вплив діаметру краплі, часу контактування між нею і газовим середовищем, концентрації кислоти на коефіцієнт тепловіддачі. Дослідження проводили за

температури газу 623 К і вологовмісту 0,02 кг  $\text{H}_2\text{O}$ /кг сухого повітря, відносна швидкість руху краплі – 3 м/с.

Розрахований за математичною моделлю [2] коефіцієнт тепловіддачі процесу упарення крапель води у повітряному потоці для діаметру крапель 0,002 м та температури 623 К дорівнює 68,7 Дж/( $\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}$ ). Із збільшенням діаметра краплі коефіцієнт тепловіддачі зменшується, а з підвищенням температури – дещо зростає.

За математичною моделлю інших авторів [3] за таких же умов ( $T=623 \text{ К}$ ,  $d=0,002 \text{ м}$ ) коефіцієнт тепловіддачі буде – 50 Дж/( $\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}$ ), час прогріву краплі від 294 К до температури упарення 336 К (температура мокрого термометра) рівний 4,02 с., а час випаровування від 26,16 до 29,00% – 4,32 с, тобто загальний час контактування – 11,34 с.

Проведені дослідження показали, що за час контактування 0,67 с крапля розчину сульфатної кислоти з початковою температурою 294К, діаметром 0,002 м нагрівається до 336 К і упарюється від концентрації 26,16 до 29,00%, тобто у 17 разів швидше. Коефіцієнт тепловіддачі за цих же умов досяг значення 2660 Дж/( $\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}$ ). Із збільшенням діаметра від 0,002 м до 0,0053 м коефіцієнт теплопередачі зростає до 4640 Дж/( $\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}$ ).

У межах досліджуваних концентрацій із зменшенням концентрації сульфатної кислоти коефіцієнт тепловіддачі зростає, що зумовлено як зменшенням в'язкості кислоти, так і збільшенням парціального тиску водяної пари над розчином кислоти в процесі її розведення.

Результати досліджень показують, що із збільшенням діаметру краплі абсолютне значення  $\alpha$  зростає. Проте, для технологічних розрахунків важливішим показником є питоме значення  $\alpha'$ , тобто віднесене до 1  $\text{м}^3$  диспергованого розчину (Дж/( $\text{с} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{К}$ )). Експериментально отримані значення питомого коефіцієнту тепловіддачі із збільшенням діаметру краплі зменшуються. Так, у процесі диспергування 1  $\text{м}^3$  розчину (концентрація  $\text{H}_2\text{SO}_4$  26,16%) до крапель діаметром 0,0053 м за 1с та рушійної сили 1 К передається  $1,31 \cdot 10^6$  Дж теплоти, за диспергування 1  $\text{м}^3$  розчину до крапель 0,002 м і таких ж умов передається  $2,0 \cdot 10^6$  Дж.

Значне зростання експериментально одержаних значень коефіцієнту тепловіддачі порівняно з наведеними авторами [2, 3] можна пояснити інтенсивною турбулізацією приграничного газового шару, що приводить до зменшення товщини ламінарної плівки та зниження опору зі сторони газу. У зазначених роботах випаровування краплі досліджували за малого температурного градієнту між краплею і газом (70...100 К), крім того, відносна швидкість руху крапель в газовому потоці була мала, практично рівна швидкості газового потоку, тому випаровування проходило в ламінарному режимі за значного опору з боку газової фази.

Одержані результати дали змогу розрахувати розміри упарюваної колони та інтенсивність упарення розчинів сульфатної кислоти.

#### **Література.**

1. Yaroslav Kalymon, Andriy Helesh and Oleg Yavorskyi. „Hydrolytic Sulphate Acid Evaporation by Waste Gases from Burning Furnaces of Meta-Titanic Acid Paste“ // Chemistry & Chemical Technology, 2012, 6(4), p. 423-429.
2. Дикий М. О. „Математична модель випаровування крапель води в повітряному потоці“ / М. О. Дикий, А. С Соломаха, В. Г. Петренко // Восточно – Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774, 3/10 ( 63 ) 2013р. 17-20с.
3. Емельянов А. Л. „Кинетика испарения капель в системах охлаждения теплонагруженных элементов приборов“ / А. Л. Емельянов, Е. С. Платунов // Изв. Вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 1. 85- 87с.